Macro-commande CALC_PRECONT

Résumé

Cette macro-commande permet de mettre en tension les câbles dans une structure, de telle sorte que, à l'issue de ce calcul, la structure soit en équilibre et la tension soit égale à la tension donnée par les règles BPEL91, calculée par la commande DEFI_CABLE_BP.
Elle permet également :

- d'appliquer la précontrainte de façon progressive, de façon à pouvoir traiter le cas où le béton va plastifier ou s'endommager selon le modèle de comportement retenu,
- de pratiquer le phasage de mise en précontrainte, c'est-à-dire la mise en tension des câbles de façon séquentielle.

Pour plus de détails sur le modèle mis en œuvre par la commande, consultez la documentation intitulée : « Modélisation des câbles de précontrainte » [R7.01.02].

1 Syntaxe

```
statnl [evol_noli] = CALC_PRECONT

(  ◊  reuse        =     statnl,
   ♦  MODELE       =     mo  ,                          [modele]
   ♦  CHAM_MATER   =     chmat  ,                       [cham_mater]
   ♦  CARA_ELEM    =     carac  ,                       [cara_elem]

   ♦  EXCIT        =(_F(   ♦ CHARGE =   chi          /   [char_meca]
                                                     /   [char_cine_meca]
                        ), ),
   ♦  COMP_INCR           =  (  voir le document [U4.51.11]   )
   ♦  INCREMENT =_F(
          ♦  LIST_INST    =  /litpsr8,                  [listr8]
                             /litps,                    [list_inst]
          ◊  INST_INIT    =  instini,                   [R]
          ◊  INST_FIN     =  instfin,                   [R]
          ◊  PRECISION    =  /1.0E-6,                   [DEFAUT]
                             /prec,                     [R]

   ♦  CABLE_BP            =  cabl_pr,                   [cable_precont]

   ◊  CABLE_BP_INACTIF    =  cabl_pr,                   [cable_precont]

   ◊  ETAT_INIT           =  (  voir le document [U4.51.03]   ),

   ◊  METHODE             =  /  NEWTON,                 [DEFAUT]
                             /  IMPL_EX,

      ◊  NEWTON           =  (  voir le document [U4.51.03]   ),
      ◊  IMPL_EX          =  (  voir le document [U4.51.03]   ),

   ◊  RECH_LINEAIRE       =  (  voir le document [U4.51.03]   ),

   ◊  SOLVEUR             =  (  voir le document [U4.50.01]   ),

   ◊  CONVERGENCE         =  (  voir le document [U4.51.03]   ),

   ◊  INFO                =  /  1,                      [DEFAUT]
                             /  2,

   ◊  TITRE               =  tx                         [Kn]
   ),
```

2 Opérandes

2.1 Opérandes MODELE / CHAM_MATER / CARA_ELEM

♦ `MODELE = mo`

Nom du modèle dont les éléments font l'objet du calcul mécanique.

♦ `CHAM_MATER = chmat`

Nom du champ de matériau affecté sur le maillage. Attention, toutes les mailles du modèle doivent être associées à un matériau.

♦ `CARA_ELEM = carac`

Nom des caractéristiques des éléments de coque, poutre, tuyau, barre, câble et éléments discrets affectés sur le modèle `mo`.

2.2 Mot clé EXCIT

♦ `EXCIT =`

Ce mot-clé facteur permet de décrire à chaque occurrence une charge. Il faut fournir les conditions aux limites pour la structure, éventuellement des chargements instantanés comme la pesanteur ainsi que les liaisons cinématiques liées aux câbles ayant déjà été mis en tension par un précédent appel à `CALC_PRECONT`. En aucun cas, il ne faut inclure le chargement du (des) câble(s) que l'on veut mettre en tension par l'appel à cette macro-commande, ni les chargements liés au(x) câble(s) déclaré(s) inactif(s).

2.2.1 Opérandes CHARGE

♦ `CHARGE =` ch_i

ch_i est le chargement mécanique précisé à la $i^{ème}$ occurrence de `EXCIT`.

2.3 Mot clé COMP_INCR

La syntaxe de ce mot clé commun à la commande `STAT_NON_LINE` est décrite dans le document [U4.51.11].

2.4 Mot clé INCREMENT

♦ `INCREMENT =`

Définit les intervalles de temps pris dans la méthode incrémentale.

2.4.1 Opérandes LIST_INST

```
♦ LIST_INST   =  /litpsr8,        [listr8]
                 /litps,          [list_inst]
```

♦ `Si LIST_INST = litpsr8        [listr8]`

Les instants de calcul sont ceux définis dans le concept `litpsr8` par l'opérateur `DEFI_LIST_REEL` [U4.34.01].

♦ `Si LIST_INST = litps          [list_inst]`

Les instants de calcul sont ceux définis dans le concept `litps` par l'opérateur `DEFI_LIST_INST` `[U4.34.03]`.

Remarque :

Même si le calcul est réalisé avec plusieurs pas de temps, seul le dernier pas de temps est stocké dans le concept résultat.
Au cours du processus de mise en tension des câbles, des instants sont générés automatiquement en plus de ceux fournis par l'utilisateur. Il est donc tout à fait normal de voir apparaître dans le fichier de message des calculs avec `STAT_NON_LINE` à des instants que l'utilisateur n'a pas spécifié. Ces instants ne sont pas stockés dans le concept résultat.

2.4.2 Opérandes `INST_INIT / INST_FIN`

◊ `INST_INIT = instini`

L'instant initial du calcul (qui donc n'est pas (re)calculé) doit être désigné par sa valeur.

Si cet instant initial n'est pas spécifié, le défaut est calculé de la manière suivante :

- si un état initial est précisé (opérande `ETAT_INIT`) et s'il définit un instant correspondant (par `EVOL_NOLI` ou `INST_ETAT_INIT`) alors l'instant initial est celui défini par l'état initial,
- s'il n'y a pas d'état initial ou qu'il ne définit pas d'instant correspondant (les champs sont donnés dans `ETAT_INIT` sans préciser `INST_ETAT_INIT`), alors on prend le premier instant de la liste d'instants `litps` (`NUME_INST_INIT =0`).

◊ `INST_FIN = instfin`

L'instant final (dernier pas calculé) est désigné de la même manière que l'instant initial, sauf qu'il n'est pas possible de faire référence à l'instant de l'état initial.

2.4.3 Opérande `PRECISION`

◊ `PRECISION = prec`

2.5 Mot clé `CABLE_BP`

♦ `CABLE_BP = cabl_pr`

Il s'agit ici de fournir une liste des concepts de type `cabl_precont` produits par l'opérateur `DEFI_CABLE_BP` [U4.42.04]. Tous les câbles concernés seront tendus à l'issue de ce calcul.

2.6 Mot clé `CABLE_BP_INACTIF`

◊ `CABLE_BP_INACTIF = cabl_pr`

Il s'agit ici de fournir une liste des concepts de type `cabl_precont` produits par l'opérateur `DEFI_CABLE_BP` [U4.42.04]. La macro-commande se charge de générer les liaisons cinématiques liées à ces câbles inactifs, et ne prend pas en compte la rigidité de ces câbles.

2.7 Mot clé `METHODE`

```
◊ METHODE = /NEWTON  ,                    [DEFAUT]
            /IMPL_EX ,
```

Ce mot clé permet de définir la méthode de résolution du problème. Par défaut, c'est la méthode itérative exacte de Newton qui est utilisée. Si l'utilisateur le souhaite, il peut utiliser la méthode robuste mais approchée `IMPL_EX`.

2.7.1 Mot clé **NEWTON**

La syntaxe de ce mot clé commun à la commande `STAT_NON_LINE` est décrite dans le document [U4.51.03]. Il n'est utilisable que si la méthode demandée est `NEWTON`.

2.7.2 Mot clé **IMPL_EX**

La syntaxe de ce mot clé commun à la commande `STAT_NON_LINE` est décrite dans le document [U4.51.03]. Il n'est utilisable que si la méthode demandée est `IMPL_EX`.

2.8 Mot clé **ETAT_INIT**

La syntaxe de ce mot clé commun à la commande `STAT_NON_LINE` est décrite dans le document [U4.51.03].

2.9 Mot clé **RECH_LINEAIRE**

La syntaxe de ce mot clé commun à la commande `STAT_NON_LINE` est décrite dans le document [U4.51.03].

2.10 Mot clé **SOLVEUR**

La syntaxe de ce mot clé commun à plusieurs commandes est décrite dans le document [U4.50.01].

2.11 Mot clé **CONVERGENCE**

La syntaxe de ce mot clé commun à la commande `STAT_NON_LINE` est décrite dans le document [U4.51.03].

2.12 Opérande **INFO**

La syntaxe de ce mot clé commun à la commande `STAT_NON_LINE` est décrite dans le document [U4.51.03].

2.13 Opérande **TITRE**

◊ `TITRE = tx`

`tx` est le titre du calcul. Il sera imprimé en tête des résultats. Voir [U4.03.01].

3 Exemple

On détaille ici les principales étapes d'un calcul de structure contenant des câbles de précontrainte (cas-test SSNV164)

3.1 Avant d'utiliser la macro-commande

- **Définition des câbles**

En cas de mise en tension non-simultanée de tous les câbles, il est nécessaire de faire (au moins) autant de `DEFI_CABLE_BP` que d'étapes de chargement.

```
CAB_BP1=DEFI_CABLE_BP(MODELE=MO,
                      CHAM_MATER=CMAT,
                      CARA_ELEM=CE,
                      GROUP_MA_BETON='VOLTOT',
                      DEFI_CABLE=(_F(GROUP_MA='CAB1',
                                     GROUP_NO_ANCRAGE=('PC1D','PC1F',),
                                     TYPE_ANCRAGE=('ACTIF','PASSIF',),),
                                  _F(GROUP_MA='CAB2',
                                     GROUP_NO_ANCRAGE=('PC2D','PC2F',),
                                     TYPE_ANCRAGE=('ACTIF','PASSIF',),),),
                      TENSION_INIT=3.750000E6,
                      RECUL_ANCRAGE=0.001,)

CAB_BP3=DEFI_CABLE_BP( MODELE=MO,
                       CHAM_MATER=CMAT,
                       CARA_ELEM=CE,
                       GROUP_MA_BETON='VOLTOT',
                       DEFI_CABLE=(_F(GROUP_MA='CAB3',
                                      GROUP_NO_ANCRAGE=('PC3D','PC3F',),
                                      TYPE_ANCRAGE=('ACTIF','PASSIF',),),
                                   _F(GROUP_MA='CAB4',
                                      GROUP_NO_ANCRAGE=('PC4D','PC4F',),
                                      TYPE_ANCRAGE=('ACTIF','PASSIF',),),),
                       TENSION_INIT=3.750000E6,
                       RECUL_ANCRAGE=0.001,)

CAB_BP5=DEFI_CABLE_BP(MODELE=MO,
                      CHAM_MATER=CMAT,
                      CARA_ELEM=CE,
                      GROUP_MA_BETON='VOLTOT',
                      DEFI_CABLE=_F(GROUP_MA='CAB5',
                                    GROUP_NO_ANCRAGE=('PC5D','PC5F',),
                                   TYPE_ANCRAGE=('ACTIF','ACTIF',),),
                      TENSION_INIT=3.750000E6,
                      RECUL_ANCRAGE=0.001,
                      )
```

- **Définition des chargements**

Il faut distinguer :

- *les chargements liés aux conditions aux limites plus les éventuels chargements instantanés,*
- *les chargement liés aux câbles contenant uniquement les liaisons cinématiques,*
- *les chargements non-instantanés postérieurs à la mise en tension des câbles.*

```
CLIM =AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MO,
                     DDL_IMPO=(
                            _F(GROUP_NO='PP',
                               DX=0.0,DY=0.0,),
                            _F(GROUP_NO='PX',
                               DY=0.0,),
                            _F(GROUP_NO='PY',
                               DX=0.0,),
                            _F(GROUP_NO='SU3',
                               DZ=0.0,), ),
                  PESANTEUR=(9.81,0.0,0.0,-1.0,), )

CMCAB1=AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MO,
                      RELA_CINE_BP=_F(CABLE_BP=CAB_BP1,
                                      SIGM_BPEL='NON',
                                      RELA_CINE='OUI',),)
CMCAB3=AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MO,
                      RELA_CINE_BP=_F(CABLE_BP=CAB_BP3,
                                      SIGM_BPEL='NON',
                                      RELA_CINE='OUI',),)
CMCAB5=AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MO,
                      RELA_CINE_BP=_F(CABLE_BP=CAB_BP5,
                                      SIGM_BPEL='NON',
                                      RELA_CINE='OUI',),)

CHMECA =AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MO,
                       DDL_IMPO=_F(GROUP_NO='SU2',
                                   DZ=1.0,), )
```

- **Calcul préliminaire avant mise en tension des câbles (facultatif)**

Il s'agit ici de prendre en compte les chargements qui s'appliquent à la structure avant la mise en tension des câbles. Pour ne pas prendre en compte la rigidité des câbles, et ne pas introduire un chargement sur les câbles, il faut effectuer le calcul soit sur un modèle ne contenant pas les câbles soit en leur affectant une loi de comportement SANS, qui impose que la contrainte reste nulle dans ces éléments.

```
RES1 = STAT_NON_LINE(MODELE=MO,
                     CHAM_MATER=CMAT,
                     CARA_ELEM=CE,
                     COMP_INCR=(_F( RELATION = 'ELAS',),
                                _F( RELATION = 'SANS',
                                    GROUP_MA= ('CAB1' ,'CAB3', 'CAB5'),),),
                     EXCIT   =(_F(CHARGE = CLIM,),
                               _F(CHARGE = CMCAB1),
                               _F(CHARGE = CMCAB3),
                               _F(CHARGE = CMCAB5),),
                     INCREMENT=_F(LIST_INST = LINST,
                                  INST_FIN = 150.),)
```

3.2 Utilisation de la macro-commande : mise en tension successive des 5 câbles

On fait appel à la macro-commande autant de fois que nécessaire.

```
RES1 =  CALC_PRECONT ( reuse=RES1,
                            ETAT_INIT=_F(EVOL_NOLI=RES1),
                            MODELE=MO,
                            CHAM_MATER=CMAT,
                            CARA_ELEM=CE,
                            COMP_INCR=(_F( RELATION = 'ELAS',),),
                            EXCIT   =(_F(CHARGE = CLIM,),),
                            CABLE_BP   =(CAB_BP1,),
                            CABLE_BP_INACTIF = (CAB_BP3, CAB_BP5,),
                            INCREMENT=_F( LIST_INST = LINST,
                                          INST_FIN  = 300.,
                                          ),)
RES1 =  CALC_PRECONT ( reuse=RES1,
                            ETAT_INIT=_F(EVOL_NOLI=RES1),
                            MODELE=MO,
                            CHAM_MATER=CMAT,
                            CARA_ELEM=CE,
                            COMP_INCR=(_F(RELATION = 'ELAS',),),
                            EXCIT    =(_F(CHARGE = CLIM,),
                                       _F(CHARGE = CMCAB1,),
                            CABLE_BP   =(CAB_BP3,),
                            CABLE_BP_INACTIF = (CAB_BP5,),
                            INCREMENT=_F(LIST_INST = LINST,
                                         INST_FIN  = 450.,
                                         ),)
RES1 =  CALC_PRECONT (  reuse=RES1,
                             ETAT_INIT=_F(EVOL_NOLI=RES1),
                             MODELE=MO,
                             CHAM_MATER=CMAT,
                             CARA_ELEM=CE,
                             COMP_INCR=(_F( RELATION = 'ELAS',),),
                             EXCIT   =(_F(CHARGE = CLIM,),
                                       _F(CHARGE = CMCAB1,),
                                       _F(CHARGE = CMCAB3,),
                             CABLE_BP   =(CAB_BP5,),
                             INCREMENT=_F(LIST_INST = LINST,
                                          INST_FIN = 600.,
                                          ),)
```

3.3 Poursuite du chargement après mise en tension des câbles

Les câbles étant tendus, il n'y a plus qu'à poursuivre le calcul en incluant toujours les liaisons cinématiques liant les nœuds du câble au béton.

```
RES1 = STAT_NON_LINE(reuse = RES1,
                     ETAT_INIT=_F(EVOL_NOLI=RES1),
                     MODELE=MO,
                     CHAM_MATER=CMAT,
                     CARA_ELEM=CE,
                     COMP_INCR=_F( RELATION = 'ELAS'),
                     EXCIT   =(_F(CHARGE = CLIM,),
                               _F(CHARGE = CMCAB1),
                               _F(CHARGE = CMCAB3),
                               _F(CHARGE = CMCAB5),
                               _F(CHARGE=CHMECA,
                                  FONC_MULT = FCT,),
                     INCREMENT=_F(LIST_INST = LINST,),)
```